

**ANALISIS KOORDINASI *RECLOSER* DAN *SECTIONALIZER*  
PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 kV DI GARDU INDUK  
WONOGIRI**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata 1  
Pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

**Oleh :**

**MUHAMMAD IRFAN FAUZI**

**D400150029**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**

**2019**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**ANALISIS KOORDINASI *RECLOSER* DAN *SECTIONALIZER*  
PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 kV DI GARDU INDUK  
WONOGIRI**

**PUBLIKASI ILMIAH**

Oleh:

**Muhammad Irfan Fauzi**

**D400150029**

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



**Agus Supardi, S.T., M.T**

**NIK: 883**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**ANALISIS KOORDINASI *RECLOSER* DAN *SECTIONALIZER*  
PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 kV DI GARDU INDUK  
WONOGIRI**

Oleh:

**Muhammad Irfan Fauzi**

**D400150029**

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji

Fakultas Teknik Elektro

Universitas Muhammadiyah Surakarta

Pada hari Jumat, 9 Agustus 2019

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji :

1. Agus Supardi, S.T., M.T  
(Ketua Dewan Penguji)
2. Dedy Ari Prasetya, S.T, M.Eng,  
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Hasyim Asy'ari, S.T, M.T.  
(Anggota II Dewan Penguji)

( ..... )

( ..... )

( ..... )



**Ir. Sri Suariono, M.T, Phd.**

**NILK, 682**

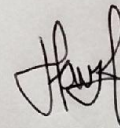
### PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam publikasi ilmiah ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 9 Agustus 2019

Penulis



**Muhammad Irfan Fauzi**

**D400150029**



## **ANALISIS KOORDINASI *RECLOSER* DAN *SECTIONALIZER* PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 kV DI GARDU INDUK WONOGIRI**

### **Abstrak**

Distribusi tenaga listrik membutuhkan sistem proteksi agar tenaga listrik dapat tersalurkan secara optimal. Koordinasi peralatan proteksi utama *recloser* dan peralatan proteksi cadangan (*back up*) sangat dibutuhkan guna mengurangi terjadinya gangguan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui koordinasi sistem proteksi dengan *recloser* dan *sectionalizer* pada jaringan distribusi 20 kV saat terjadi gangguan. Metode penelitian melalui pengumpulan referensi melalui artikel, jurnal ilmiah dan beberapa buku untuk pedoman penulisan dalam menganalisis sistem proteksi jaringan listrik 20 kV. Data yang terkumpul kemudian diubah ke bentuk matematis dan dianalisis. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa *recloser* akan bekerja terlebih dahulu jika terjadi gangguan dengan waktu kerja ( $t$ ) selama 0,3 detik, selanjutnya SSO 1 dengan waktu kerja ( $t$ ) sebesar 0,7 detik dan yang terakhir bekerja adalah SSO 2 dengan waktu kerja ( $t$ ) sebesar 1,1 detik. Koordinasi antara *recloser* dan *sectionalizer* (SSO) didasarkan pada letak gangguan yang terjadi. Jika terdapat gangguan antara *recloser* dan SSO, maka yang bekerja dalam jaringan ini adalah *recloser*. Gangguan yang berada di setelah SSO, maka SSO dan *recloser* mendeteksi arus gangguan, kemudian *recloser* trip atau open terlebih dahulu. SSO kemudian merasakan hilang tegangan akibat dari *opennya recloser*. Selanjutnya *recloser* akan menutup kembali atau *reclose* dan saat ini gangguan telah dilepas oleh SSO, maka *recloser* sudah tidak mendeteksi adanya arus gangguan.

Kata Kunci: *Koordinasi Sistem Proteksi, Recloser, Sectionalizer*

### **Abstract**

*Electric power distribution requires a protection system so that electricity can be channeled optimally. Electric power distribution network already has the main protection equipment, namely Recloser, but its use has not been optimal in isolating interference, so it is necessary to have a back up device, namely the Sectionalizer to isolate the section from interference. Coordination on protection*

*systems in distribution networks is needed to reduce the occurrence of disturbances and reduce the consequences of such disturbances, so that the continuity of electricity distribution is maintained, and targets in the distribution of electrical energy can be achieved. This study aims to knowing the coordination of the recloser protection system with sectionalizers on the 20 kV distribution network when a fault occurs. The research method used is by collecting references, then data collection on the 20 kV network found at the Wonogiri substation. The calculation results showed that the recloser will work first if there is a disturbance with working time ( $t$ ) for 0.3 seconds, then SSO 1 with work time ( $t$ ) for 0.7 seconds and the last one to work is SSO 2 with work time ( $t$ ) of 1.1 seconds. Recloser and SSO coordination occurs when the interference is only in zone between recloser and SSO, only the recloser works, whereas if there is a disturbance in zone after SSO, the recloser works first before SSO.*

*Keywords: Coordination of Protection System, Recloser, Sectionalizer*

## **1. PENDAHULUAN**

Sistem distribusi tenaga listrik membutuhkan sebuah sistem proteksi agar tenaga listrik tersalurkan secara optimal. Sistem distribusi tenaga listrik perlu dilakukan dengan aman dan andal sehingga tidak ada gangguan. Gangguan yang terjadi pada sistem distribusi listrik adalah kejadian yang menyebabkan relay pengaman bekerja dan mengaktifkan pemutus tenaga (PMT) di luar kehendak operator, sehingga menyebabkan putusnya aliran daya dari sumber ke pusat-pusat beban (Sulasno, 2011). Berdasarkan SPLN 52-3: 1983 gangguan pada saluran distribusi adalah sebagai berikut: tegangan dan arus abnormal, pemasangan yang kurang baik, penuaan, beban lebih, kegagalan atau kerusakan peralatan dan saluran, manusia, hujan dan cuaca, binatang dan benda-benda asing, dan bencana alam.

Sistem proteksi pada jaringan distribusi tenaga listrik sangat diperlukan untuk menunjang kontinuitas dan meminimalisir daerah padam. Sistem proteksi merupakan bagian yang menjamin bahwa dalam jaringan distribusi tenaga listrik dapat dikatakan aman. Sistem proteksi juga dipakai untuk melindungi peralatan

dan wilayah yang penting, sehingga peralatan dan wilayah tersebut dapat terjaga dari gangguan (Ramesh dan Vittal, 2015). Terdapat beberapa macam peralatan proteksi yang terpasang di jaringan distribusi, diantaranya adalah Pemutus Tenaga (PMT), *Recloser*, *Fuse Cut Out (FCO)*, *Sectionalizer (SSO)*, Relay *OCR* dan *GFR*, dan lain-lain (Sulasno, 2011).

Sistem proteksi harus dikoordinasikan supaya sesuai dengan yang diinginkan dan untuk mencegah adanya salah pemutusan oleh alat-alat pengaman tersebut. Alat-alat pengaman yang diteliti pada penelitian ini dibatasi pada *recloser* (PBO) dan *sectionalizer* (SSO). *Recloser* atau Pemutus Balik Otomatis (PBO) adalah pemutus yang memiliki kelengkapan berupa alat-alat kontrol dan relay penutup balik yang digunakan untuk mensensor arus gangguan dan memberikan perintah kepada pemutus untuk membuka dan menutup kembali (Sulasno, 2011). *Sectionalizer* atau Saklar Seksi Otomatis (SSO) adalah saklar yang dilengkapi dengan kontrol elektronik, yang digunakan sebagai pengaman seksi atau pengaman arus lebih pada sistem distribusi tenaga listrik, dan bekerjanya berkaitan dengan pengaman di sisi sumber (seperti *recloser* atau PBO). *Sectionalizer* berfungsi juga mengisolir seksi SUTM yang terganggu secara otomatis (Pandjaitan, 2012).

Peralatan pengaman perlu dipasang terkoordinir pada sistem, sehingga setiap pengaman mempunyai peranan yang penting dalam mengatasi gangguan sesuai dengan fungsinya masing-masing. Roth (2013) dalam jurnalnya menyatakan koordinasi peralatan pengaman sangat mempengaruhi tingkat keandalan dari sistem distribusi. Ketika gangguan terjadi, letak gangguan akan dapat segera terdeteksi dan peralatan pengaman tersebut akan berkoordinasi sedemikian rupa sehingga tidak menyebabkan terjadinya pemadaman yang lama, dan bila sampai terjadi pemadaman area pemadamannya dapat diperkecil seminimal mungkin.

Setting *recloser* dan *sectionalizer* dilakukan dengan menghitung arus hubung singkat, mencari nilai *setting recloser* dan *sectionalizer*, dan menghitung

waktu kerja. Semua arus hubung singkat tersebut dihitung menggunakan rumus dasar yaitu:

$$I = V/Z \quad (1)$$

Keterangan:

$I$  = arus gangguan hubung singkat (Ampere)

$V$  = tegangan (Volt)

$Z$  = impedansi dari sumber ke titik gangguan (Ohm).

Menghitung nilai arus nominal dengan rumus:

$$I_{\text{nominal}} = S/(\sqrt{3} \times V) \quad (2)$$

Keterangan:

$I_n$  = Arus nominal

$S$  = Daya semu

$V$  = Tegangan

*Setting recloser* adalah dengan menghitung arus primer di sisi beban:

$$I_{\text{set primer}} = 1,2 \times I_{\text{beban}} \quad (3)$$

Selanjutnya menghitung waktu kerja ( $t$ ):

$$t = \text{TMS} \cdot K/(I_f/I_s)^\alpha - 1 \quad (4)$$

Keterangan:

$t$  = *tripping time*

$K$  = faktor  $K$

$I_f$  = arus gangguan

$I_s$  = arus setting

$\alpha$  = faktor  $\alpha$

$\text{TMS} = \text{Time Multiplier Setting}$

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Gardu Induk Wonogiri dan dapat diselesaikan dalam waktu 3 bulan. Tahapan penelitian dimulai dari studi literatur, pengumpulan data, analisis data, dan pengambilan kesimpulan



#### 1. Studi Literatur

Penulis mengambil beberapa referensi melalui artikel, jurnal ilmiah dan beberapa buku untuk pedoman penulisan dalam menganalisis sistem proteksi distribusi jaringan listrik 20 kV di Gardu Induk Wonogiri.

#### 2. Pengambilan Data

Penulis melakukan pengumpulan dan penelusuran data yang dibutuhkan di Gardu Induk Wonogiri. Data yang diperoleh adalah sistem proteksi jaringan distribusi listrik pada penyulang 20 kV yang memiliki trafo dengan kapasitas daya 60 MVA, tegangan primer dan sekunder 150/20 kV, Impedansi 13 %, dan MVA hubung singkat 3192,138 ampere.

#### 3. Analisis Data

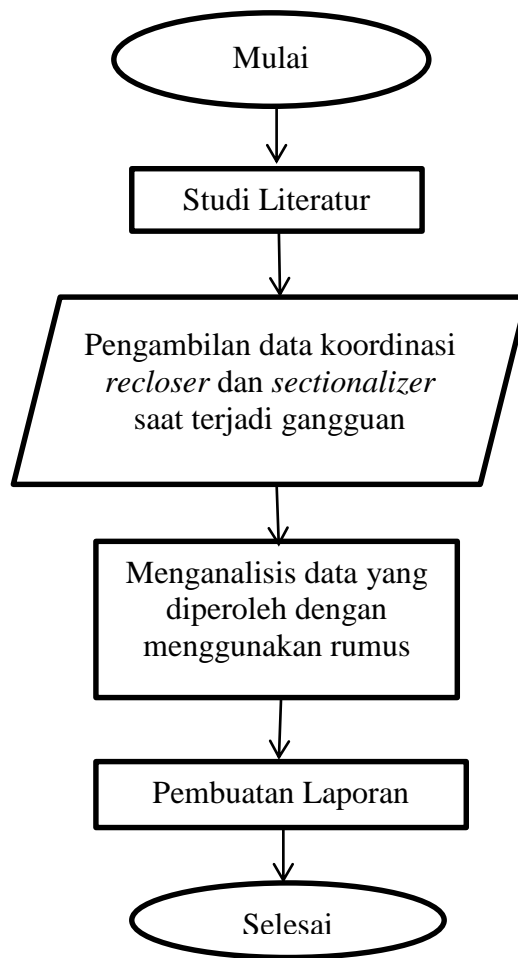
Analisis data dilakukan setelah proses pengambilan data di Gardu Induk Wonogiri. Analisis data adalah proses untuk memahami data yang di peroleh dari proses pengambilan data. Proses analisis data digunakan untuk menentukan nilai setting *recloser* dan *sectionalizer* agar lebih selektif terhadap arus.

#### 4. Pengambilan Kesimpulan

Hasil akhir setelah dilaksanakan berbagai analisis data terkait koordinasi *recloser* dan *sectionalizer* saat terjadinya gangguan.

### **2.2 Flowchart Penelitian**

Penelitian ini dilakukan berdasarkan urutan pengerjaan seperti ditampilkan pada *flowchart* pada gambar 1.



Gambar 1. *Flowchart* penelitian

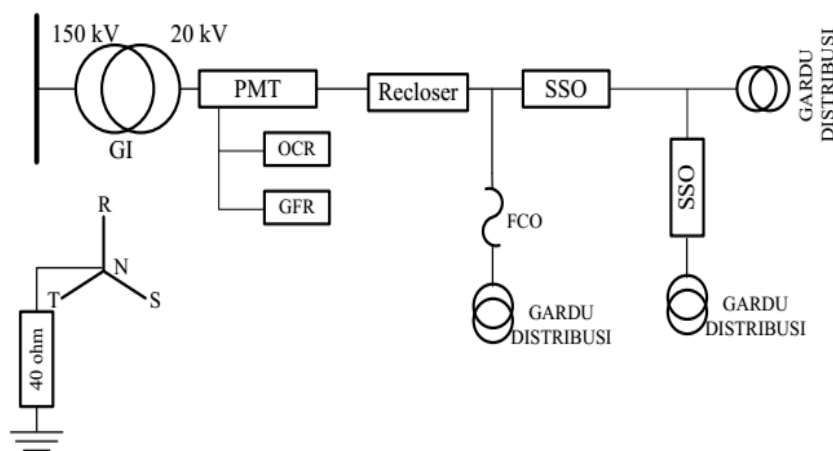
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem distribusi yang dianalisis adalah gangguan hubung singkat pada saluran distribusi 20 kV Gardu Induk Wonogiri. Trafo yang akan dibahas adalah trafo yang melayani penyulang WNI 02 dengan kapasitas 60 MVA.

Tabel 1. Data Trafo Gardu Induk Wonogiri

Kapasitas daya	60 MVA
Tegangan primer dan sekunder	150/20 kV
Impedansi	13 %
MVA <i>hubung singkat</i>	3192,138

Data penelitian yang diambil dari PLN Wonogiri adalah *single line diagram* pada penyulang WNI 02 dengan panjang saluran 20 kilometer mulai dari trafo 2 Gardu Induk Wonogiri menuju ke gardu distribusi. Sistem proteksi yang terpasang pada penyulang WNI 02 adalah pada saluran awal penyulang terdapat OCR (*Over Current Relay*), kemudian *recloser* dipasang pada kilometer 3, SSO 1 dipasang pada kilometer 8 dan SSO 2 dipasang pada kilometer 14.



Gambar 2. Penempatan *recloser* dan SSO pada penyulang WNI 02 Gardu Induk Wonogiri

### 3.1 Menghitung arus hubung singkat

Arus nominal sisi 20 kV:

$$V_{\text{per unit (pu)}} = \frac{\text{kV sebenarnya}}{\text{kV dasar}} = \frac{20 \text{ kV}}{20 \text{ kV}} = 1 \text{ pu}$$

$$Z_{\text{dasar}} = \frac{\text{kV}^2}{\text{MVA}} = \frac{(20 \text{ kV})^2}{60 \text{ MVA}} = 6,67 \Omega$$

$$I_{\text{dasar}} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} = \frac{60 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \cdot 20 \text{ kV}} = 1732,05 \text{ Ampere}$$

### 3.2 Menghitung impedansi sumber pada sisi 20 kV

$$Z_{\text{sumber}} = j \frac{\text{kV}^2}{\text{MVA.hs}} = \frac{(20 \text{ kV})^2}{3192,138 \text{ MVA}}$$

$$= j 0,125 \Omega$$

$Z$  sumber per unit :

$$\begin{aligned} Z_{\text{sumber per unit}} (Z_{\text{pu}}) &= j \frac{Z_{\text{sumber}}}{Z_{\text{dasar}}} = j \frac{0,125 \Omega}{6,67 \Omega} \\ &= j 0,019 \text{ pu} \end{aligned}$$

### 3.3 Menghitung impedansi pada trafo

$$\begin{aligned} Z_{\text{baru}} &= Z_{\text{lama}} \times \left( \frac{kV_{\text{lama}}}{kV_{\text{baru}}} \right)^2 \times \left( \frac{MVA_{\text{lama}}}{MVA_{\text{baru}}} \right) \\ &= 0,13 \times \left( \frac{20 \text{ kV}}{20 \text{ kV}} \right)^2 \times \left( \frac{60 \text{ MVA}}{60 \text{ MVA}} \right) \\ &= j 0,13 \text{ pu} \end{aligned}$$

### 3.4 Menghitung impedansi pada saluran urutan positif, negatif, dan nol

Penghantar yang digunakan adalah AAAC 240 mm<sup>2</sup>. Berdasarkan SPLN (1985:64) penghantar tersebut memiliki impedansi urutan positif/negatif: 0,1344 + j 0,3158  $\Omega$ /km, sedangkan impedansi urutan nol: 0,2824 + j 1,6033  $\Omega$ /km.

$$Z_{\text{saluran positif}} = Z_{\text{saluran negatif}}$$

Perhitungan impedansi pada saluran yang berjarak 3 km

$$\begin{aligned} &= 3 \text{ km} \times (0,1344 + j 0,3158 \Omega/\text{km}) \\ &= 0,4032 + j 0,9474 \Omega \end{aligned}$$

$Z$  saluran positif, negatif per unit

$$\begin{aligned} &= \frac{0,4032 + j 0,9474 \Omega}{6,67 \Omega} \\ &= 0,06 + j 0,142 \text{ pu} \end{aligned}$$

$Z$  saluran nol

Perhitungan impedansi pada saluran yang berjarak 3 km

$$\begin{aligned} &= 3 \text{ km} \times (0,2824 + j 1,6033 \Omega/\text{km}) \\ &= 0,8472 + j 4,809 \Omega \end{aligned}$$

$Z$  saluran nol dalam per unit

$$\begin{aligned} &= \frac{0,8472 + j 4,809 \Omega}{6,67 \Omega} \\ &= 0,127 + j 0,721 \text{ pu} \end{aligned}$$

### 3.5 Mencari $Z_{\text{total}}$ pada urutan positif, negative dan nol

$$\begin{aligned} Z_1 = Z_2 &= Z_{\text{sumber}} + Z_{\text{trafo}} + Z_{\text{saluran}} \\ &= j 0,019 \Omega + j 0,13 \Omega + (0,06 + j 0,142 \Omega) = 0,06 + j 0,291 \text{ pu} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Z_0 &= Z_{\text{sumber}} + Z_{\text{trafo}} + Z_{\text{saluran}} \\
&= j 0,019 \Omega + j 0,13 \Omega + (0,127 + j 0,721 \Omega) \\
&= 0,127 + j 0,87 \text{ pu}
\end{aligned}$$

### 3.6 Menghitung arus hubung singkat pada saluran

Menghitung arus hubung singkat 3 fasa pada jarak 3 km

$$\begin{aligned}
I_{3\text{fasa}} &= \frac{V}{Z_1} = \frac{1+j0}{(0,06 + j 0,291 \Omega)} = \frac{1 \angle 0}{0,297 \angle 78,1} \\
&= 3,367 \angle -78,1^\circ \text{ Ampere}
\end{aligned}$$

Jadi hasil perhitungan arus hubung singkat 3 fasa yang berjarak 3 km

$$= (3,367 \angle -78,1^\circ \text{ A}) \times 1732,05 \text{ A} = 5831 \angle -78,1^\circ \text{ Ampere}$$

Menghitung arus hubung singkat 2 fasa pada jarak 3 km

$$\begin{aligned}
I_{2\text{fasa}} &= \frac{V_{ph}}{Z_1 + Z_2} = \frac{\sqrt{3} \cdot (1+j0)}{2 \cdot (0,06 + j 0,291 \Omega)} = \frac{\sqrt{3} \cdot (1+j0)}{0,594 \angle 78,1} \\
&= 2,912 \angle -78,1^\circ \text{ Ampere}
\end{aligned}$$

Jadi hasil perhitungan arus hubung singkat 2 fasa yang berjarak 3 km

$$= (2,912 \angle -78,1^\circ \text{ A}) \times 1732,05 \text{ A} = 5043 \angle -78,1^\circ \text{ Ampere}$$

Menghitung arus hubung singkat 1 fasa tanah pada jarak 3 km

$$\begin{aligned}
I_{\text{fasa tanah}} &= \frac{3 \cdot V}{Z_1 + Z_2 + Z_0} = \frac{3 \cdot (1+j0)}{2 \cdot (0,06 + j 0,291 \Omega) + 0,127 + j 0,87 \Omega} \\
&= \frac{3 \cdot (1+j0)}{0,12 + j 0,582 \Omega + 0,127 + j 0,87 \Omega} \\
&= \frac{3 \angle 0}{0,247 \angle 1,452} = \frac{3 \angle 0}{1,477 \angle 80,4^\circ} \\
&= 2,031 \angle -80,4^\circ \text{ Ampere}
\end{aligned}$$

Jadi hasil perhitungan arus hubung singkat 1 fasa tanah berjarak 3 km

$$= (2,031 \angle -80,4^\circ \text{ A}) \times 1732,05 \text{ A} = 3517 \angle -80,4^\circ \text{ Ampere}$$

Hasil tersebut adalah untuk jarak 3 km, untuk jarak lainnya diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil perhitungan gangguan arus hubung singkat pada setiap jarak

Arus Hubung Singkat (Ampere)			
Jarak gangguan (km)	3 Fasa	2 Fasa	1 Fasa tanah
0	12106 $\angle -90^\circ$	10476 $\angle -90^\circ$	12111 $\angle -90^\circ$
1	8836 $\angle -83,9^\circ$	7643 $\angle -83,9^\circ$	6335 $\angle -83,8^\circ$

2	7127 $\angle$ -80,3°	6163 $\angle$ -80,3°	4593 $\angle$ -81,4°
3	5831 $\angle$ -78,1°	5043 $\angle$ -78,1°	3517 $\angle$ -80,4°
4	5123 $\angle$ -76,4°	4432 $\angle$ -76,4°	3114 $\angle$ -79,4°
5	4441 $\angle$ -75.2°	3845 $\angle$ -74.9°	2904 $\angle$ -77.4°
6	3935 $\angle$ -74.3°	3377 $\angle$ -74.2°	2625 $\angle$ -77,0°
7	3533 $\angle$ -73.4°	3029 $\angle$ -73.4°	1812 $\angle$ -76.6°
8	3170 $\angle$ -72.8°	2749 $\angle$ -72.8°	1614 $\angle$ -76.4°
9	2927 $\angle$ -72.3°	2494 $\angle$ -72.4°	1455 $\angle$ -76.2°
10	2676 $\angle$ -71.9°	2312 $\angle$ -71.9°	1325 $\angle$ -75,6°
11	2423 $\angle$ -70.4°	2206 $\angle$ -70.4°	1264 $\angle$ -75,1°
12	2317 $\angle$ -69.1°	2137 $\angle$ -69.1°	1202 $\angle$ -74,4°
13	2206 $\angle$ -68.3°	2019 $\angle$ -68.3°	1167 $\angle$ -73,9°
14	2061 $\angle$ -67.8°	1782 $\angle$ -67.8°	989 $\angle$ -73,3°

Tabel 2 menunjukkan bahwa arus hubung singkat setiap panjang jarak gangguan hasilnya berbeda, semakin jauh jarak gangguan maka semakin kecil arus hubung singkat karena adanya impedansi saluran. Tabel 2 menunjukkan bahwa pada gangguan 3 fasa yang terjadi di kilometer 0 adalah arus gangguan yang terbesar yaitu sebesar 12106  $\angle$  -90° Ampere, sedangkan pada gangguan 3 fasa yang terjadi di kilometer 14 adalah arus gangguan yang terkecil yaitu sebesar 2061  $\angle$  -67.8°. Nilai arus gangguan yang semakin mengecil dipengaruhi oleh impedansi saluran, sedangkan besar kecilnya impedansi ditentukan oleh panjang saluran. Semakin besar impedansinya maka arus gangguannya semakin kecil.

Panjang saluran berpengaruh terhadap besaran impedansi saluran, semakin panjang saluran maka semakin besar impedansi dan berbanding terbalik dengan nilai arus gangguan hubung singkatnya. Hasil perhitungan setelah kilometer 1 mempunyai nilai gangguan yang berangsur-angsur turun, urutan nilai arus gangguan terbesar ke terkecil mulai dari gangguan 3 fasa, 2 fasa dan 1 fasa.

### 3.7 Menghitung nilai setting *recloser*

Untuk menghitung seting *recloser* agar segera trip ketika terjadi gangguan yang berada di kilometer 3 maka dapat menggunakan data arus gangguan 3 fasa pada tabel 2 yang terletak di kilometer 3 yaitu sebesar 5831 Ampere. Hal ini karena posisi *recloser* terletak di kilometer 3.

I beban = 200 ampere



$$CT = 300 : 1 \text{ ampere}$$

$$I_{\text{set primer}} = 1,2 \times I_{\text{beban}} = 1,2 \times 200 \text{ ampere} = 240 \text{ ampere}$$

$$I_{\text{set sekunder}} = 240 \text{ ampere} \times \frac{1}{300} = 0,80 \text{ ampere}$$

### 3.8 Menghitung nilai setting TMS (Time multiplier setting)

Untuk menghitung TMS pada *recloser* nilai waktunya (t) ditentukan sebesar 0,3 detik agar saat terjadi gangguan *recloser* akan segera trip.

$$\begin{aligned} TMS &= \frac{\left( \frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{set primer}}} \right)^{0,02} - 1}{0,14} \times t \\ &= \frac{\left( \frac{5831 \text{ A}}{240 \text{ A}} \right)^{0,02} - 1}{0,14} \times 0,3 \text{ detik} = 0,141 \text{ detik} \end{aligned}$$

### 3.9 Pemeriksaan waktu kerja (t) recloser

Nilai gangguan arus hubung singkat yang didapat dari hasil perhitungan adalah dalam nilai arus primer, maka dalam pemeriksaan selektifitas nilai arus primernya juga diambil untuk lokasi gangguan di jarak 3 km. Untuk menghitung waktu kerja (t) *recloser* maka menggunakan data arus hubung singkat yang terletak pada jarak 3 km.

$$\begin{aligned} t &= TMS \frac{0,14}{\left( \frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{set primer}}} \right)^{0,02} - 1} \\ &= 0,141 \text{ detik} \frac{0,14}{\left( \frac{5831 \text{ A}}{240 \text{ A}} \right)^{0,02} - 1} = 0,30 \text{ detik} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan menggunakan persamaan waktu kerja, maka *recloser* bekerja setelah selang waktu 0,30 detik. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa waktu kerja *recloser* sudah sesuai dengan nilai setting.

### 3.10 Menghitung waktu kerja (t) Sectionalizer 1 (SSO 1)

Untuk mendapatkan nilai setting SSO 1 maka menggunakan arus gangguan yang terdekat dengan SSO 1 yaitu kilometer 8 sebesar 3170 ampere. Selanjutnya untuk menghitung nilai setting TMS pada SSO 1 nilai waktunya (t) ditentukan sebesar 0,3 detik + 0,4 detik = 0,7 detik agar saat terjadi gangguan *recloser* akan segera trip lebih dulu.

$$\begin{aligned}
TMS &= \frac{\left(\frac{i \text{ fault}}{i \text{ set primer}}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \times t \\
&= \frac{\left(\frac{3170 \text{ A}}{240 \text{ A}}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \times 0,7 \text{ detik} \\
&= 0,2649 \text{ detik}
\end{aligned}$$

Perhitungan waktu kerja (t) SSO 1:

$$\begin{aligned}
t &= TMS \frac{0,14}{\left(\frac{i \text{ fault}}{i \text{ set primer}}\right)^{0,02} - 1} \\
&= 0,2649 \text{ detik} \frac{0,14}{\left(\frac{3170 \text{ A}}{240 \text{ A}}\right)^{0,02} - 1} = 0,70 \text{ detik}
\end{aligned}$$

Menghitung waktu kerja (t) SSO 2

Untuk mendapatkan nilai setting SSO 2 maka menggunakan arus gangguan yang terdekat dengan SSO 2 yaitu kilometer 14 sebesar 2089 ampere. Selanjutnya untuk menghitung nilai seting TMS pada SSO 2 nilai waktunya (t) ditentukan sebesar 0,7 detik + 0,4 detik = 1,1 detik agar saat terjadi gangguan *recloser* akan segera trip lebih dulu.

$$\begin{aligned}
TMS &= \frac{\left(\frac{i \text{ fault}}{i \text{ set primer}}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \times t \\
&= \frac{\left(\frac{2061 \text{ A}}{240 \text{ A}}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \times 1,1 \\
&= 0,3453 \text{ detik}
\end{aligned}$$

Perhitungan waktu kerja (t) SSO 2.

$$\begin{aligned}
t &= TMS \frac{0,14}{\left(\frac{i \text{ fault}}{i \text{ set primer}}\right)^{0,02} - 1} \\
&= 0,3475 \text{ detik} \frac{0,14}{\left(\frac{2061 \text{ A}}{240 \text{ A}}\right)^{0,02} - 1} = 1,1 \text{ detik}
\end{aligned}$$

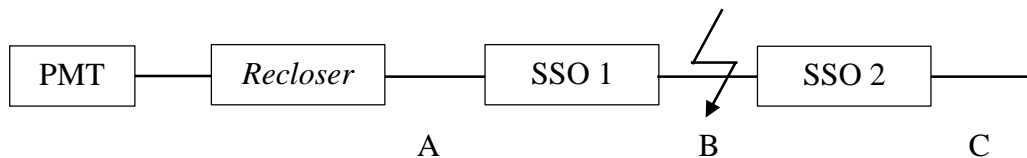
### 3.11 Koordinasi Recloser dan Sectionalizer

Tabel 3. Hasil perhitungan waktu kerja *recloser* dan *sectionalizer*

Setting	<i>Recloser</i>	SSO 1	SSO 2
TMS detik)	0,141	0,2649	0,3453
t (detik)	0,30	0,70	1,10

Tabel 3 menunjukkan bahwa pengaturan waktu atau setting untuk *recloser* = 0,3 detik, SSO 1 = 0,7 detik dan SSO 2 = 1,1 detik. Setting koordinasi peralatan *recloser* dan *sectionalizer* tersebut sudah sesuai dengan Standart IEEE 242-2001 dimana nilai waktu kerja tiap peralatan proteksi diset dengan selisih 0,25 - 0,5 detik.

Waktu kerja (t) *recloser* dalam pengaturannya lebih kecil dibandingkan dengan waktu kerja SSO 1 maupun SSO 2, karena mempertimbangkan zona proteksi SSO yang berada di hilir saluran. Zona proteksi *recloser* mulai dari kilometer 3 sampai dengan kilometer 8 sedangkan SSO 1 berada di wilayah proteksi kilometer 8 sampai dengan kilometer 14, dan SSO 2 berada di wilayah proteksi kilometer 14 atau lebih. Cara kerjanya dapat dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 3. Waktu kerja *recloser* dan SSO pada zona proteksi

Titik B dianggap terjadi gangguan maka setelah selang waktu  $t_1 = 0,3$  detik *recloser* akan *open* dan PMT trip sehingga seksi A, seksi B, dan seksi C tidak bertegangan. Saat *recloser open* maka setelah selang waktu  $t_2 = 0,7$  detik SSO 1 akan *open* dan selang waktu  $t_3 = 1,1$  detik SSO 2 juga *open*. Hal ini karena syarat SSO untuk hilang tegangan telah terpenuhi. Kemudian *recloser* akan *open* dan *close* sesuai dengan berapa kali settingan *recloser* tersebut. Setelah tercapainya waktu penutup balik pertama pada *recloser* maka PMT penyulang masuk kembali, sehingga SSO 1 merasakan tegangan dan *close*. Karena di seksi B masih ada gangguan maka PMT penyulang trip lagi (bila gangguan temporer), sehingga SSO

1 dan SSO 2 terbuka lagi. Karena SSO 1 hanya bertegangan sesaat (kurang dari  $t-2 = 0,7$  detik) maka langsung mengunci (*lock out*). Setelah waktu *recloser* kedua tercapai, PMT masuk dan seksi A dan C bertegangan. Seksi B tidak bertegangan / padam. Aliran daya dari penyulang hanya pada seksi A dan C saja.

Ketika nilai arus melebihi nilai setting, maka kedua peralatan proteksi tersebut akan membaca nilai arus tersebut sebagai nilai arus gangguan hubung singkat. Oleh sebab itu, *recloser* akan membuka, kemudian *sectionalizer* akan mendeteksi tegangan yang hilang. *Sectionalizer* akan menghitung berapa kali terjadi hilang tegangan. Setelah setting kehilangan tegangan pada *sectionalizer* terpenuhi, maka *sectionalizer* akan *lock out*. *Sectionalizer* akan melokalisasi daerah gangguan, sehingga daerah yang padam dapat lebih diminimalisir (ABB AutoLink Resettable Electronic Sectionalizer Catalogue, 2013).

Berdasarkan uraian di atas, koordinasi kerja *recloser* dan SSO didasarkan pada letak gangguan yang terjadi. Gangguan yang terjadi terletak di antara *recloser* dan SSO atau gangguan terletak di jaringan setelah SSO. Jika gangguan yang terjadi terletak di antara *recloser* dan SSO, maka yang terjadi adalah: (1) *Recloser* tersebut akan open karena *recloser* mendeteksi adanya gangguan pada jaringan; (2) Saat *recloser* open, SSO tidak ikut open karena SSO hanya mendeteksi hilang tegangan namun tidak mendeteksi arus gangguan. Kemudian, *recloser* akan open dan close sesuai dengan settingan berapa kali *recloser* tersebut open-close.

Jika gangguan yang terjadi terletak setelah SSO, maka yang terjadi adalah: (1) *Recloser* tersebut akan open karena *recloser* mendeteksi adanya gangguan pada jaringan. (2) Saat *recloser* open, SSO akan open karena SSO mendeteksi hilang tegangan dan mendeteksi arus gangguan. Kemudian, *recloser* akan menutup kembali atau *reclose*. Karena gangguan telah dilepas oleh SSO, maka saat *recloser* melakukan *reclose*, *recloser* sudah tidak mendeteksi adanya arus gangguan. Dengan begitu, jaringan dari PMT hingga SSO masih dapat teraliri listrik, hanya jaringan setelah SSO yang akan padam.

#### 4. PENUTUP

Berdasarkan analisis koordinasi *recloser* dan *sectionalizer* pada distribusi 20 kV penyulang WNI 02 Gardu Induk Wonogiri maka kesimpulannya adalah :

1. Pada gangguan 3 fasa yang terjadi di kilometer 0 adalah arus gangguan yang terbesar yaitu sebesar  $12106 \angle -90^\circ$  ampere, sedangkan pada gangguan 1 fasa tanah yang terjadi di kilometer 14 adalah arus gangguan yang terkecil yaitu sebesar  $2061 \angle -67.8^\circ$  ampere.
2. Hasil perhitungan pada *recloser* dan SSO pada penyulang WNI 02 Gardu Induk Wonogiri menunjukkan bahwa *recloser* akan bekerja terlebih dahulu jika terjadi gangguan dengan waktu kerja (t) sebesar 0,3 detik, selanjutnya SSO 1 dengan waktu kerja (t) sebesar 0,7 detik dan yang terakhir bekerja adalah SSO 2 dengan waktu kerja (t) sebesar 1,1 detik.
3. Koordinasi antara *recloser* dan *sectionalizer* (SSO) didasarkan pada letak gangguan yang terjadi. Jika terdapat gangguan antara *recloser* dan SSO, maka yang bekerja dalam jaringan ini adalah *recloser*. Selanjutnya untuk gangguan yang berada di setelah SSO, maka SSO dan *recloser* mendeteksi arus gangguan, kemudian *recloser* trip atau open terlebih dahulu. SSO kemudian merasakan hilang tegangan akibat dari *opennya recloser*. Selanjutnya, *recloser* akan menutup kembali atau reclose. Karena gangguan telah dilepas oleh SSO, maka saat *recloser* melakukan reclose, *recloser* sudah tidak mendeteksi adanya arus gangguan. Dengan begitu, jaringan dari PMT hingga SSO masih dapat teraliri listrik, hanya jaringan setelah SSO yang akan padam.

#### PERSANTUNAN

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini kepada :

1. Allah S.W.T. yang telah memberikan perlindungan dan kelancaran dalam penyusunan tugas akhir.
2. Bapak dan Ibu selaku kedua orang tua yang senantiasa memberi semangat, motivasi dan doa untuk kelancaran pengerjaan tugas akhir.

3. Bapak Umar S.T. M.T. ketua jurusan teknik elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta.
4. Bapak Agus Supardi S.T. M.T. selaku pembimbing yang memberi arahan dan penjelasan dalam penyelesaian tugas akhir.
5. Pegawai PT PLN (persero) Area Wonogiri yang sudah memberikan data untuk keperluan tugas akhir ini.
6. Mahasiswa Teknik Elektro UMS angkatan 2015 yang sudah membantu dalam mencari data yang diperlukan dan memberi semangat untuk segera menyelesaikan tugas akhir.
7. Semua teman-teman Teknik Elektro UMS angkatan 2015 yang selalu memberi informasi terkait tugas akhir ini.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- ABB SA. 2013. *ABB AutoLink Resettable Electronic Sectionalizer Catalogue*, YSA160038, Rev.1 September 2013
- Darmanto, N.A dan Handoko, S. (2006). *Analisa Koordinasi OCR - Recloser Penyulang Kaliwungu 03*. Jurnal Transmisi, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik., Universitas Diponegoro, Vol. 11, No. 1, Juni 2006
- Hosseinzadeh, H. (2014). *Distribution System Protection*. University of Western Ontario, ES586B: Power System Protection Journal.
- Pandjaitan, B. (2012). *Praktik-Praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Andi Offset
- Ramesh, B and Vittal, K.P. (2015). *Upgrading Substation Relays To Digital Reclosers And Their Coordination With Sectionalizers*. IEEE Department. National Institute of Technology Karnataka India. Proceedings of 4th IRF International Conference on 19th April 2015
- Roth, D.P. (2013). *Maximizing Protection Coordination With Self-Healing Technology*. Technical Manager, Eaton's Cooper Power Systems, White Paper WP1180-11035 Effective September 2013
- Setiono, I. (2017). *Sistem Proteksi Tenaga Listrik*. Semarang: Tiga Media



- Standar PLN (SPLN) No. 52-3. (1983). *Gangguan pada Sistem Distribusi 20 kV*. Jakarta: Departemen Pertambangan dan Energi
- Suhardi, dkk. (2008). *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 3*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional
- Sulasno. (2011). *Teknik dan Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Semarang: BP UNDIP.